

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. Januar 2004 (22.01.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/008092 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01J 3/453

(74) Anwalt: LORENZ SEIDLER GOSSEL; Widenmayer-
strasse 23, 80538 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2002/007861

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juli 2002 (15.07.2002)

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CAMPUS TECHNOLOGIES AG [CH/CH]; Keltenstrasse 1, CH-2563 Ipsach (CH).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

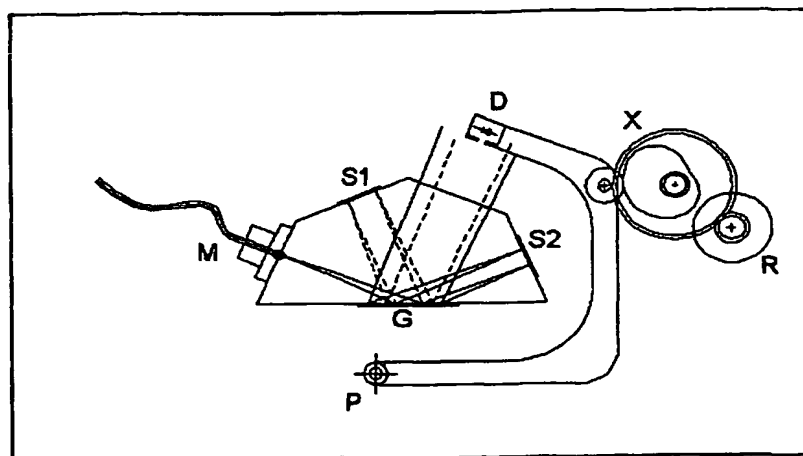
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WEITZEL, Thilo [DE/CH]; Holzmattweg 17, CH-3274 Merzligen (CH).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR OPTICAL SPECTROSCOPY, OPTICAL SENSOR AND USE OF SAID DEVICE

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR OPTISCHEN SPEKTROSKOPIE UND OPTISCHEN SENSORIK SOWIE VERWENDUNG DER VORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for optical spectroscopy, optical sensor and use of said device. According to the invention, a device with high spectral resolution yet with comparatively low quality requirements for the optical components may be achieved, whereby the device for optical spectroscopy comprises means for generation of an interference pattern, means for injection of the light field under investigation such that only one or individual spatial modes of the field are transmitted and a detector which can record the intensity of the interference pattern generated in a number of different spatial positions, whereby the wavefronts and/or the dispersion direction of at least one of the light fields in the interference pattern are altered as a function of wavelength due to spectral dispersive or diffractive optical elements. The invention further relates to a method for determining the optical spectrum and/or measured values encoded or transmitted by means of an optical spectrum by analysis of the interference pattern measured with said device, or by using said device.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur optischen Spektroskopie und optischen Sensorik sowie die Verwendung der Vorrichtung. Eine Vorrichtung mit hoher spektraler Auflösung bei gleichzeitig vergleichsweise geringen Ansprüchen an die Qualität der optischen Komponenten wird dadurch geschaffen, dass die Vorrichtung zur optischen Spektroskopie Mittel zur Erzeugung eines Interferenzmusters, Mittel zur Einkopplung des zu untersuchenden Lichtfeldes dergestalt, dass nur eine oder einzelne räumliche Moden des Feldes zugelassen werden, und einen Detektor umfasst, der die Intensität des erzeugten Interferenzmusters an einer Vielzahl räumlich unterschiedlicher Positionen aufnehmen kann, wobei durch spektral disperse bzw. diffraktive optische Elemente die Wellenfronten und/oder die Ausbreitungsrichtung mindestens eines der am Interferenzmuster beteiligten Lichtfelder abhängig von der Wellenlänge verändert werden. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Bestimmung des optischen Spektrums und/oder von durch ein optisches Spektrum kodierten bzw. übertragenen Messwerten durch Analyse des mit einer erfindungsgemässen Vorrichtung oder unter Verwendung einer erfindungsgemässen Vorrichtung gemessenen Interferenzmusters.

Vorrichtung und Verfahren zur optischen Spektroskopie und optischen Sensorik sowie Verwendung der Vorrichtung

Die Erfindung betrifft Vorrichtungen und Verfahren zur optischen Spektroskopie sowie optische Sensoren.

Optische Spektrometer können eingeteilt werden in dispersive bzw. diffraktive Spektrometer und Fourier-Transform-Spektrometer.

Dispersive (aus Prismen-) bzw. diffraktive (Gitter-) Spektrometer zerlegen den einfallenden Lichtstrahl durch die Wellenlängenabhängigkeit eines Beugungs- bzw. Reflexionswinkels in seine spektralen Komponenten. Die verschiedenen spektralen Komponenten werden dadurch räumlich getrennt und die zu bestimmende spektrale Komponente kann selektiert werden (Monochromator). Die Aufnahme eines Spektrums erfolgt dann mit Hilfe beweglicher Teile, indem die verschiedenen spektralen Komponenten nacheinander selektiert und gemessen werden.

Am gebräuchlichsten sind Monochromatoren mit einem Strahlengang nach Czerny-Turner, d.h. mit einem drehbaren Plangitter (Beugungsgitter in Reflektion) zwischen einem Eintritts- und einem Austritts-Spalt und voneinander unabhängigen Kollimator- bzw. Kollektor-Spiegeln. Kollimator und Kollektor bewirken eine Abbildung

des Eintrittsspalt in die Ebene des Austrittsspalt. Das Beugungsgitter befindet sich in der Fourier-Transform-Ebene dieses abbildenden Systems.

Die Entwicklung ortsauflösender Detektoren (CCD, Diodenarray) erlaubt inzwischen die gleichzeitige Messung aller spektralen Komponenten, indem für jede spektrale Komponente ein eigenes Element des Detektors vorgesehen wird. Eine derartige Anordnung kommt ohne bewegliche Teile aus und nutzt das zur Verfügung stehende einfallende Licht wesentlich effizienter.

Fourier-Transform-Spektrometer basieren auf einem Interferometer, bei dem die Differenz der optischen Weglängen der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen mit hoher Präzision eingestellt werden kann. Aus einer Messung des Interferenzsignals über einen geeigneten Bereich von Weglängendifferenzen kann durch Fourier-Transformation das Spektrum bestimmt werden.

Geräte werden in der Regel nach Art eines Michelson- bzw. Twyman-Green-Interferometers aufgebaut. Technisch anspruchsvoll sind hier vor allem die mechanischen Komponenten zur Einstellung der optischen Weglängen durch verschiebbare Spiegel oder kippbare Spiegelpaare sowie der erforderliche Kollimator zur Erzeugung ebener Wellenfronten.

Eine weitere Variante von Spektrometern verwendet statische Interferenzmuster erzeugt durch Lichtstrahlen, die unter einem bestimmten Winkel zur Interferenz gebracht werden, z.B. Fizeau-Interferometer. Durch Auszählen der Interferenzstreifen oder über eine Bestimmung der Raumfrequenzen des Interferenzmusters mit Hilfe einer numerischen Fouriertransformation kann das Spektrum berechnet werden.

Nachteilig für diese interferometrischen Spektrometer (sowohl für Michelson-/Twyman-Green-Interferometer mit veränderlichen Weglängen als auch für statische Interferometer mit räumlichen Interferenzmustern) ist die Tatsache, dass die relative spektrale Auflösung unmittelbar durch die Anzahl der im Interferenzmuster gemessenen Linienpaare (Fizeau-Streifen) bestimmt ist. Werden N Linienpaare für

eine bestimmte Wellenlänge λ gezählt, liegt die spektrale Auflösung in der Größenordnung von λ/N .

Eine neuere Variante von Fourier-Transform-Spektrometern ("spatial heterodyne spectrometer") verwendet dispersive bzw. diffraktive optische Elemente (Beugungsgitter), um den Winkel zwischen zwei kollimierten Teilstrahlen eines statischen Interferometers abhängig von der Wellenlänge zu verändern und so die spektrale Auflösung zu erhöhen.

Zwingend wird hier die Überlagerung ebener Wellenfronten vorausgesetzt, um Interferogramme nach Fizeau zu erhalten (Fizeau-Streifen), welche nach der Messung durch eine numerische Fourier-Transformation in ihre spektralen Komponenten zerlegt werden können.

Derartige Anordnungen basieren weiter auf der Translationsinvarianz der optischen Fourier-Transformation. Das einfallende Licht wird zunächst durch einen Kollimator kollimiert. Der kollimierte Strahl (ebene Wellenfronten) wird geteilt (Amplitudenteilung) und über spektral dispersive oder diffraktive Elemente geführt, z.B. ein Beugungsgitter. Das spektral dispersive optische Element liegt hierbei in der Fourier-Ebene des Kollimators. Die wieder überlagerten Teilstrahlen werden dann durch einen Kollektor und eine weitere Fourier-Transformlinse derart abgebildet, dass ein ortsauflösender Detektor wieder in eine Fourier-Transform-Ebene der Eintrittsapertur zu liegen kommt.

Derartige Anordnungen sind daher wie Fourier-Transform-Spektrometer oder konventionelle Monochromatoren auf abbildende optische Systeme hoher Qualität angewiesen. Insbesondere sind relativ große Brennweiten der optischen Systeme erforderlich.

Die mögliche Leistungsfähigkeit dispersiver bzw. diffraktiver Spektrometer ist abhängig von bestimmten Parametern, insbesondere den Abmessungen von Eintritts- bzw. Austrittsspalt, der Brennweite und Apertur der abbildenden Elemente und den

Eigenschaften des dispersiven bzw. diffraktiven Elementes selbst. Moderne Geräte erreichen fast diese physikalisch gesetzten Grenzen.

Entsprechend ist die mögliche Leistungsfähigkeit von Fourier-Transform-Spektrometern durch bestimmte Parameter und hier insbesondere durch die Strecke und die Schrittweite für die Variation der optischen Weglängen bestimmt. Die Leistungsfähigkeit von Fourier-Transform-Spektrometern übersteigt bei weitem die Möglichkeit von dispersiven bzw. diffraktiven Spektrometern.

Auch Fourier-Transform-Spektrometer können die physikalischen Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit beinahe erreichen, jedoch ist der technische Aufwand gegebenenfalls sehr hoch. Da Fourier-Transform-Spektrometer auf einem Interferometer basieren, müssen alle optischen Komponenten und insbesondere auch die beweglichen Teile mit einer Präzision von Bruchteilen der zu messenden Wellenlängen gefertigt und positioniert werden.

Spatial heterodyne Spektrometer sind technisch weniger aufwendig, benötigen aber gleichfalls sowohl abbildende als auch dispersive bzw. diffraktive optische Komponenten hoher Qualität.

Die spektrale Auflösung $d\lambda$ bei einer Wellenlänge λ aller genannten Spektrometer steht in direktem Zusammenhang zu einer entsprechenden Kohärenzlänge

$$l = \lambda^2 / d\lambda.$$

Um eine bestimmte spektrale Auflösung zu erreichen, muss die spektrometrische Anordnung definierte Differenzen der optischen Weglängen von mindestens der Länge l erzeugen.

Allen genannten Spektrometern gemeinsam ist somit die Notwendigkeit einer Kollimation des einfallenden Lichtes. Der Kollimator ist dabei ein abbildendes optisches Element einer gewissen Brennweite f , z.B. ein Hohlspiegel oder eine Linse.

Die Eintrittsöffnung des Spektrometers befindet sich im Brennpunkt des Kollimators.

Die Spektrometer nutzen nun explizit die speziellen Eigenschaften der optischen Fouriertransformation, insbesondere die Translationsinvarianz der Fouriertransformation, d.h. die Transformation einer Translation in der Brennebene zu einer Änderung der Ausbreitungsrichtung in der Fourierebene des Kollimators.

Monochromatoren ("4f-System": Eintrittsspalt - f - Kollimator - f - Beugungsgitter - f - Kollektor - f - Austrittsspalt) beeinflussen durch ein Beugungsgitter die Ausbreitungsrichtung des Lichtes in der Fourierebene des abbildenden Systems und erzeugen so die gewünschte spektrale Dispersion ohne die Abbildung vom Eintrittsspalt auf den Austrittsspalt bzw. Detektor wesentlich zu stören (l ist dabei durch die Geometrie des Gitters im Strahlengang definiert, $f \gg l$). Der Kollimator führt eine optische Fourier-Transformation aus, der Kollektor übernimmt die optische Rücktransformation und bewirkt so die optische Abbildung des Eintrittsspalt in die Ebene des Austrittsspalt bzw. des Detektors.

Fourier-Transform-Spektrometer (2f-System) benötigen zwingend den Kollimator (in der Regel mit f wesentlich größer als l), um die Interferenz trotz unterschiedlich langer optischer Wege aufrechtzuerhalten, d.h. die Wellenfronten am Detektor passend zusammenzuführen. Hier wird insbesondere die Translationsinvarianz der Fourier-Transformation genutzt.

Bei einem Fourier-Transform-Spektrometer ersetzt die numerische Fouriertransformation die beim Monochromator verwendete optische Rücktransformation.

Fourier-Transform-Spektrometer mit dispersiven Elementen, die ein räumliches Interferenzmuster auswerten (spatial heterodyne spectrometer) benötigen den Kollimator explizit im Kontext einer optischen Fouriertransformation, einerseits um ein Verschmieren der Interferenzmuster trotz endlich großer Eintrittsöffnung zu vermeiden (Translationsinvarianz), andererseits um den definierten und eindeutigen Zu-

sammenhang zwischen optischem Spektrum und Anteilen an Raumfrequenzen im resultierenden Muster herzustellen, der die Grundlage der numerischen Rücktransformation bildet.

Diese Spektrometer erfordern überdies eine zusätzliche abbildende Optik ("6f-System": Eintrittsspalt - f - Kollimator - f - Interferometer mit Beugungsgitter - f - Kollektor - f - Austrittsblende - f - abbildendes Element - f - Detektor-Ebene)

Da sowohl interferometrische Anordnungen als auch hochauflösende abbildende Systeme durch hochwertige Optiken mit ggf. großen Brennweiten realisiert werden müssen und eine Mindestgröße der Komponenten bzw. Weglängen - abhängig von der jeweiligen genauen Anordnung - durch den o.g. Wert I fest vorgegeben ist, steigt der technische Aufwand mit wachsenden Anforderungen an die spektrale Auflösung schnell an. Eine kennzeichnende Größe ist hier die trotz Kollimation auftretende sogenannte spektrale Apertur-Verbreiterung (aperture broadening).

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen zur Realisierung von Spektrometern mit hoher spektraler Auflösung bei gleichzeitig wesentlich niedrigeren Ansprüchen an die Qualität der optischen Komponenten.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch eine interferometrische Vorrichtung nach Anspruch 1 sowie durch die Verwendungs- und Verfahrensansprüche gelöst.

Wesentlich für die erfindungsgemäße Realisierung eines preiswerten und spektral hochauflösenden Spektrometers oder Sensors ist die Einkopplung des Lichts über definierte räumliche Moden bzw. eine Mono-Mode-Einkopplung. Unter diesen Umständen verschwindet die Aperturverbreiterung, insbesondere bleibt das Interferenzmuster auch ohne optische Fouriertransformation durch einen Kollimator erkennbar und kann mit Hilfe der dargestellten Verfahren ausgewertet werden.

Ein derartiges optisches Spektrometer erlaubt in Kombination mit dispersiven oder diffraktiven optischen Elementen zur wellenlängenabhängigen Beeinflussung der Wellenfronten sehr viel kompaktere und flexiblere Aufbauten als bisherige Ansätze mit abbildenden optischen Elementen.

Voraussetzung für die Funktion derartiger Aufbauten ist das dargestellte Messverfahren, bzw. die dargestellte Methode zur Orthogonalisierung der gemessenen Interferenzmuster, da diese nicht unmittelbar mit Hilfe einer numerischen Fouriertransformation ausgewertet werden können.

Vorzugsweise Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den sich an den Hauptanspruch anschließenden Unteransprüchen 2 bis 34. Erfindungsgemäße Verwendungen ergeben sich aus den Ansprüchen 35 bis 38 und ein erfindungsgemäßes Verfahren und bevorzugte Verfahrensvarianten ergeben sich aus den Ansprüchen 39 bis 48.

Die Erfindung umfaßt eine Vorrichtung, die dispersive bzw. diffraktive optische Elemente mit einem Interferometer mit Einkopplung einzelner räumlicher Moden und mit einem Detektor, der die Intensität des resultierenden Interferenzmuster an einer Vielzahl räumlicher Positionen messen kann, kombiniert, sowie ein Verfahren, das es erlaubt das Spektrum des einfallenden Lichtes oder unmittelbar Messwerte, die aus einem solchen Spektrum ableitbar sind, aus einem so gemessenen Interferenzmuster zu rekonstruieren.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist so ausgelegt, daß sich die Interferenzmuster jeweils verschiedener spektraler Komponenten des zu untersuchenden spektralen Bereichs stark voneinander unterscheiden. Ein derartiges einer bestimmten spektralen Komponente zugeordnetes Interferenzmuster wird im folgenden als Basismuster bezeichnet. Die Muster können eindimensional oder zweidimensional betrachtet werden. Ein durch eine erfindungsgemäße Vorrichtung erzeugtes Interferenzmuster wird als Überlagerung einer Reihe von jeweils unterschiedlichen Basismustern betrachtet.

Die Aufnahme des Interferenzmusters erfolgt durch den Detektor durch Messung der Intensitäten an einer großen Anzahl diskreter räumlicher Positionen. Ein Interferenzmuster liegt also jeweils in Form einer fixen Anzahl von (Meß-) Werten vor. Genauigkeit und darstellbare Raumfrequenzen folgen aus dem Sampling-Theorem.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Interferenzmuster als Reihe von (Mess-)Werten und damit im Kontext der linearen Algebra als Vektor interpretiert oder insbesondere als Element eines Folgenraumes der entsprechenden Dimension. Die oben eingeführten Basismuster werden im Kontext der linearen Algebra zunächst als linear unabhängige Basisvektoren dieses Folgenraumes interpretiert.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf der Möglichkeit, für eine erfindungsgemäße Vorrichtung die jeweils erforderlichen Basismuster entweder rechnerisch oder durch Messung zu bestimmen. Beim erfindungsgemäßen Verfahren kann dann das Spektrum des einfallenden Lichtes durch Zerlegung des Interferenzmusters in diese Basismuster gewonnen werden.

Die besonderen Vorteile von Vorrichtung und Verfahren für die Realisierung hochauflösender oder sehr kompakter optischer Spektrometer resultieren aus der optischen Mono-Mode Einkopplung, die einen Verzicht auf die Eigenschaft der Translationsinvarianz der optischen Transformation und damit den Verzicht auf einen Kollimator erlaubt. Die Vorrichtung kann daher völlig ohne die Verwendung abbildender optischer Elemente realisiert werden. Dies wird möglich in Kombination mit den beschriebenen Verfahren, welche die Tatsache nutzen, dass wenigstens näherungsweise eine numerische Rücktransformation des am Detektor gemessenen Interferenzsignals zum gesuchten Spektrum für fast beliebige, ausreichend komplizierte optische Transformationen gefunden werden kann.

Das Verfahren kann in verschiedenen Varianten realisiert werden, zur Diskussion führen wir folgende Definitionen ein:

s sei ein Spektrum, dargestellt durch diskrete spektrale Komponenten bestimmter Intensität, d.h. als ein Vektor mit den Komponenten s_n $n:1..N$.

s umfasst einen bestimmten spektralen Bereich des optischen Spektrums, die einzelnen Komponenten liegen spektral dicht bezogen auf die betrachtete spektrale Auflösung.

i sei das am Detektor gemessene Interferenzmuster. **i** ist damit ein Vektor, der z.B. die einzelnen Elemente eines Array-Detektors repräsentiert mit den Komponenten i_m $m:1..M$

o sei das durch das Verfahren als Messergebnis rekonstruierte Spektrum oder ein Vektor, der unmittelbar die aus einem Spektrum abgeleiteten Messwerte repräsentiert, dargestellt entsprechend **s** durch Komponenten o_k $k:1..K$.

Falls **o** ein Spektrum repräsentiert in der Regel mit $K=N$.

Die optische Transformation **T** kann dargestellt werden als Matrix durch $\mathbf{T} \mathbf{s} = \mathbf{i}$.

Die Auswertung wird zunächst dargestellt als Rücktransformation **R** durch $\mathbf{R} \mathbf{i} = \mathbf{o}$.

Unter sehr günstigen Umständen (gutes Signal/Rauschverhältnis, fixe Phasenlage, "spektral dicht" liegende Basismuster) könnte eine direkte (näherungsweise) Berechnung von **R** als inverse von **T** erfolgen. **o** wird dann (näherungsweise) gleich **s**.

Die Komponenten (Vektoren) der Matrix **T** können anhand der Beziehung $\mathbf{T} \mathbf{e}_n = \mathbf{t}_n$ bestimmt werden, die \mathbf{e}_n sind dabei die Einheitsvektoren der spektralen Komponenten. Besonders interessant ist nun die Möglichkeit, die spektralen Komponenten \mathbf{e}_n etwa mit Hilfe einer monochromatischen Referenzlichtquelle tatsächlich zu erzeugen und die \mathbf{t}_n und damit die Matrix **T** experimentell zu bestimmen (Referenz bzw. Eichmessung).

In der Regel ist eine Bestimmung von **R** durch Inversion der (gemessenen) Matrix **T** nicht möglich, die Rücktransformation kann bei bekannten \mathbf{t}_n jedoch näherungs-

weise durch eine Korrelation erfolgen. Verschiedene Korrelationsverfahren sind möglich, ein gängiges Verfahren ist "cross-correlation" basierend auf dem Skalarprodukt der diskreten Fouriertransformierten der jeweils zu vergleichenden Folgen bzw. Vektoren. Mit der diskreten Fouriertransformation F kann \mathbf{o} und damit näherungsweise \mathbf{s} berechnet werden als $\mathbf{o}_n = | F(\mathbf{i}) F^{-1}(\mathbf{t}_n) |$.

Für den Fall, dass die optische Transformation eine exakte Fouriertransformation ist, wird nur eine Komponente des Ausdrucks $F^{-1}(\mathbf{t}_n)$ ungleich 0 sein, nämlich diejenige, welche die jeweils entsprechende Raumfrequenz und damit unmittelbar eine spektrale Komponente des Spektrums darstellt. Hier sind die Basisvektoren \mathbf{t}_n nicht nur linear unabhängig sondern auch orthogonal und bilden überdies die Einheitsvektoren der Raumfrequenzen. Für genau diesen Spezialfall reduziert sich also die Berechnung von \mathbf{o} auf die Fouriertransformation von \mathbf{i} .

Besonderes Interesse verdienen jedoch folgende zwei Möglichkeiten:

Die Eigenschaften der optischen Transformation können Ähnlichkeit mit denen einer Fouriertransformation aufweisen oder die optische Transformation kann völlig irregulär sein, d.h. z.B. sogenannte "speckle pattern" bilden ("Granulation").

Der erste Fall kann repräsentiert werden durch eine grob fehlerhafte optische Fourier-Transformation, etwa erzeugt durch eine erfindungsgemäße optische Anordnung ohne Kollimator und mit sehr preiswerten optischen Elementen. Die Basismuster sind durch die systematische Erzeugung damit noch linear unabhängig aber nur noch näherungsweise orthogonal.

Der zweite Fall kann repräsentiert werden durch eine erfindungsgemäße optische Anordnung mit einem Interferometer basierend auf einer zerkratzten Glasscherbe (extrem preiswert). Die Basisvektoren können hier als statistisch verteilt angenommen werden.

Für den ersten Fall stellt das Verfahren eine Korrektur dar, d.h. die schlechte Qualität der optischen Transformation kann durch eine angepasste Rücktransformation weitestgehend kompensiert werden.

Im zweiten Fall wird das Spektrum durch eine rein statistische Korrelation der Messwerte mit den Basisvektoren bestimmt. In diesem Fall sollte von einer hohen Anzahl an Elementen des Detektors ausgegangen werden, insbesondere ist es günstig M sehr viel größer als N zu wählen, etwa durch Verwendung eines zweidimensionalen Detektorarrays. Die Basismuster sind aufgrund ihrer statistischen Natur nicht linear unabhängig. Trotzdem zeigt die Korrelation für große N gute Ergebnisse. Sehr gute Ergebnisse werden erzielt für sehr große M , da in diesem Fall, d.h. der statistischen Verteilung von N Basisvektoren in einem M -dimensionalen Raum, die Basisvektoren wenigstens näherungsweise linear unabhängig werden.

In diesem Kontext kommen auch andere Korrelationsfunktionen für das Verfahren in Frage, insbesondere stochastische Korrelationen.

Besonders vorteilhaft ist eine weitergehende Berechnung bzw. Verfeinerung der Ergebnisse durch Dekonvolution, sofern das gewählte Verfahren auf einen Satz unterschiedlicher Transferfunktionen angewandt werden kann.

Bei einer Verwendung der erfindungsgemäßen Anordnung als Sensor kann es vorteilhaft sein, als Ergebnis der Berechnungen nicht das Spektrum sondern unmittelbar die gesuchten Messwerte anzustreben.

Für einen Chemosensor werden die Basisvektoren dann nicht durch Messung spektraler Komponenten sondern durch Aufnahme von Spektren der gesuchten Substanzen bestimmt. Ein Basisvektor und damit eine Komponente des Ergebnisvektors repräsentiert damit nicht eine einzelne spektrale Komponente sondern unmittelbar den gesuchten Messwert, d.h. z.B. die Konzentration einer bestimmten Substanz entsprechend einem Absorptionsspektrum.

Entsprechendes gilt etwa für die Messung von Schichtdicken anhand der charakteristischen spektralen Modulation von durch dünne Schichten transmittiertem oder reflektiertem Licht.

Diese adaptive Vorgehensweise erlaubt die Realisierung von optischen Sensoren für eine Vielzahl von Anwendungen. Die Auswertung der Messungen durch Korrelation mit zuvor aufgenommenen Basismustern erlaubt die direkte Bestimmung der gesuchten Größen ohne den Umweg über eine Analyse des optischen Spektrums.

Soweit die Interferenzmuster, d.h. die Basismuster für die in Frage kommenden spektralen Komponenten, im Rahmen der Auflösung und Genauigkeit der Messung linear unabhängig sind, können die jeweiligen spektralen Komponenten des einfallenden Lichtes und damit das Spektrum durch Korrelation der jeweiligen Basismuster mit dem aufgenommenen Interferenzmuster bestimmt werden.

Soweit die Eigenschaften aller Komponenten der Vorrichtung ausreichend präzise bestimmt sind, kann der erforderliche Satz Basismuster berechnet werden.

Besonders interessant ist die Möglichkeit, mit Hilfe einer geeigneten einstellbaren monochromatischen Referenzlichtquelle einen Satz von Basismustern für den jeweiligen konkreten Aufbau der Vorrichtung zu messen. Da die Basismuster in diesem Fall alle Arten von in der jeweiligen Vorrichtung auftretenden optischen Aberrationen bereits enthalten, sind die Ansprüche an die optische Qualität der Komponenten der Vorrichtung relativ gering, soweit die Basismuster näherungsweise linear unabhängig bleiben.

Bei Fouriertransform-Spektrometern sind die aufgenommenen "perfekten" Interferenzmuster linear unabhängig (Superposition von sinusoidalen Komponenten) und die Fouriertransformation stellt ein Orthogonalisierungsverfahren dar. Die einzelnen Fourierkoeffizienten stellen die spektralen Komponenten des gemessenen Spektrums dar.

Eine direkte Fouriertransformation der mit einer erfindungsgemäßen Anordnung aufgenommenen Muster ist sinnlos, jedoch ist eine Orthogonalisierung bzgl. spektraler Komponenten möglich nach einer geeigneten Transformation der aufgenommenen Interferenzmuster. Hierzu muss für jeden Messpunkt die relative Weglängendifferenz der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen bestimmt werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann das Interferenzmuster durch Teilung der Amplitude des einfallenden Lichtfeldes mit Hilfe eines halbdurchlässigen Spiegels oder eines geeigneten Gitters (gegebenenfalls in mehr als zwei Teilstrahlen) und anschließender Überlagerung der Teilfelder am Ort des Detektors erzeugt werden. Hier kommen alle klassischen Interferometer in Frage, die gegebenenfalls durch dispersive oder diffraktive Elemente ergänzt werden, beispielsweise: Michelson-, Mach-Zehnder-, Sagnac-, -Fabry-Perot oder Scherungs-Interferometer. Weiterhin kommt jede Anordnung, die Interferenzmuster mit räumlichen Perioden erzeugt, die der jeweilige Detektor auflösen kann, in Frage. Durch geeignete Dimensionierung der Vorrichtung können die am Detektor auftretenden Raumfrequenzen unabhängig vom jeweils zu untersuchenden Wellenlängenbereich gewählt werden.

Weiterhin kommt - besonders begünstigt durch die Beschränkung auf einzelne räumliche Moden des Lichtfeldes - auch die Erzeugung der Teilfelder durch Teilung der Wellenfront in Frage, etwa durch ein Fresnellsches Biprisma, andere Kombinationen von Prismen oder Spiegeln, mit Hilfe unregelmäßig geformter Oberflächen oder ebenfalls mit Hilfe diffraktiver Elemente.

Die erforderliche spektrale Dispersion kann in allen Fällen durch geeignete Ausführung des Strahlteilers selbst oder durch zusätzliche optische Elemente eingebracht werden.

Der Detektor kann versehen mit einer geeignet kleinen Blende durch das Interferenzmuster bewegt werden (scannen). Es ist auch möglich durch Bewegung anderer Komponenten der Vorrichtung oder mit Hilfe eines zusätzlich beweglichen

Spiegels, die verschiedenen Messpunkte nacheinander aufzunehmen. Dieses Verfahren bietet sich besonders an für extrem hochauflösende Messungen oder in Wellenlängenbereichen für die keine geeigneten ortsauflösenden Detektoren verfügbar sind.

Als räumlich auflösender Detektor bietet sich im eindimensionalen Fall ein geeignetes Diodenarray oder eine CCD-Zeile an.

Besonders interessant ist die Verwendung zweidimensionaler Detektoren (CCD oder andere), da in diesem Fall mit der Erhöhung der Anzahl der Messwerte erheblich größerer Spielraum für die Eigenschaften der Basisfunktionen besteht und bei "besser" linear unabhängigen Funktionen die jeweiligen Korrelationen entsprechend schärfer berechnet werden können.

Die Abbildungen zeigen bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung in jeweils unterschiedlichen Kombinationen der verschiedenen Ansprüche.

Abbildung 1 zeigt eine außerordentlich kompakte Anordnung nach Anspruch 1, wobei die optischen Komponenten in einem monolithischen Glasblock integriert sind. Die Lichteinkopplung (M) erfolgt gemäß Anspruch 6 unmittelbar aus einer Monomode Glasfaser in den Block, so dass sich das Feld zunächst als Kugelwelle entwickelt. Durch eine unmittelbar auf den Glasblock aufgebrachten Beugungsstruktur (G) wird die Amplitude der Welle gemäß Anspruch 2 geteilt in eine gebeugte und eine reflektierte Komponente, welche zu jeweils einem der direkt auf den Glasblock aufgebrachten Spiegel (S1, S2) laufen. Die Beugungsstruktur wirkt dabei gemäß Anspruch 27 sowohl als Strahlteiler als auch als spektral hoch dispersives optisches Element, das die Wellenfront des gebeugten Strahls spektral abhängig verändert. Im weiteren Verlauf werden die Teilfelder reflektiert und wieder überlagert. Die abgebildete Anordnung arbeitet hier gemäß der Ansprüche 28 bis 30. Das resultierende Feld verlässt den Glasblock über die freie Fläche. Ein aus nicht verwendeten gebeugten Anteilen bestehendes zweites Feld trifft im wesentlichen auf diejenige Fläche des Glaskörpers über welche die Einkopplung der Kugelwelle er-

folgte. Dieser Anteil sollte durch geeignete Beschichtung dieser Fläche absorbiert werden.

Der Detektor (D) hat eine kleine räumliche Ausdehnung bzw. verfügt über eine geeignete Blende und befindet sich gemäß Anspruch 7 auf einem beweglichen Arm, dargestellt mit einem Drehpunkt (P). Der Detektor wird durch das Lichtfeld bewegt und nimmt dessen Intensität an einer Vielzahl von räumlichen Positionen nacheinander auf. In der dargestellten Anordnung erfolgt die Bewegung des Arms mit Hilfe eines Exzenters (X) der durch einen Motor (R) angetrieben wird.

Ein Satz derartiger Messungen, d.h. eine Menge von an definierten Positionen aufgenommenen Messwerten bildet ein Muster, das mit Hilfe der Verfahren gemäß Anspruch 39-48 ausgewertet werden kann.

Eine Anordnung nach Abbildung 2 unter Verwendung eines separaten Strahlteilers (S) zur Teilung der Amplitude der Wellen gemäß Anspruch 2 und zwei dispersiven Elementen (G1,G2) in den Armen des Interferometers wird möglich durch eine Monomode-Einkopplung (M) gemäß Anspruch 4. Vorteilhaft ist eine Aperturblende (A) wie dargestellt. Eine derartige Anordnung kommt ohne Fouriertransfomoptik bzw. ganz ohne abbildende optische Elemente aus, da auf die Translationsinvarianz der Fouriertransformation verzichtet werden kann. Die Auswertung der Interferenzmuster, welche eine derartige Anordnung erzeugt, kann somit auch nicht unmittelbar durch eine numerische Fouriertransformation erfolgen, sondern erfordert eines der in den Ansprüchen 39 bis 48 dargestellten Verfahren. Die in Abbildung 2 dargestellte Anordnung verwendet einen ortsauflösenden Detektor (CCD) gemäß Anspruch 9. Besonders vorteilhaft wirkt sich ein Phasenmodulator (P) gemäß Anspruch 14, etwa in Form des in der Abbildung symbolisierten Piezoaktuators, aus.

Die Möglichkeit, Interferenzmuster bei einer Vielzahl unterschiedlicher relativer Phasenlagen der beteiligten Felder aufzunehmen, bietet den dargestellten Verfahren erhebliche Vorteile.

In diesem Fall bildet die Menge der jeweils vom ortsauflösenden Detektor aufgenommenen Intensitäten ein Muster, das mit Hilfe der Verfahren gemäss Anspruch 39-48 ausgewertet werden kann.

Neben den Vorteilen von Anordnungen nach Anspruch 1, die aus dem möglichen völligen Verzicht auf abbildende optische Elemente erwachsen, erlaubt eine Monomodalen-Einkopplung insbesondere auch interferometrische Anordnungen, die auf einer Teilung der Wellenfront gemäss Anspruch 3 basieren. Dies erlaubt über den Verzicht auf abbildende optische Elemente hinaus auch noch den Verzicht auf einen Strahlteiler als diskretes optisches Element.

Abbildung 3 zeigt eine Anordnung gemäss Anspruch 1 und 3. Voraussetzung ist eine Einkopplung (M) etwa nach Anspruch 4. Das eingekoppelte Lichtfeld breitet sich von M ausgehend als Kugelwelle aus. In der dargestellten Anordnung verfügt der Spiegel (S) über eine geeignete Öffnung, die das eingekoppelte Feld passieren kann. Ein Teil der Welle trifft auf ein Beugungsgitter (G1), ein anderer Teil trifft auf ein Beugungsgitter (G2), damit ist die Wellenfront geteilt. Vorteilhaft ist eine Aperturblende (A) wie dargestellt. Die Gitter beugen das Licht mit möglichst hoher Effizienz zurück auf den beweglichen Spiegel (S), wo es zu einer Überlagerung der Wellenfelder kommt.

Der bewegliche Spiegel reflektiert gemäss Anspruch 8 das resultierende Feld auf den Detektor (D), welcher in Abhängigkeit von der Stellung des Spiegels die Intensität des Feldes an einer Vielzahl unterschiedlicher Positionen aufnehmen kann.

Es ist günstig aber nicht unbedingt notwendig einen Phasenmodulator gemäss Anspruch 14 vorzusehen, etwa in Form des dargestellten Piezoaktors (P).

Eine alternative Möglichkeit nach Anspruch 15 zur Erzeugung unterschiedlicher Interferenzmuster, welche in den dargestellten Verfahren nutzbar sind, kann in einer derartigen Anordnung einfach durch räumliche Versetzung des Einkopplers realisiert werden.

In diesem Fall ist das durch ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 39 bis 48 auszuwertende Muster durch einen Satz Messwerte, die für unterschiedliche Positionen des Spiegels S gemessen wurden gegeben.

Die Leistungsfähigkeit der Vorrichtung und des im folgenden beschriebenen Verfahrens kann wesentlich verbessert werden, wenn die relative Phasenlage der Teilstrahlen geeignet beeinflusst werden kann. Dies kann geschehen etwa durch die Verwendung eines über eine Strecke in der Größenordnung der Wellenlänge linear verschiebbaren Spiegels, durch den die relative Phasenlage des reflektierten Lichtes mit großer Genauigkeit verändert werden kann oder z.B. im Falle eines Aufbaus nach Art eines Scherungs-Interferometers oder z.B. im Falle eines Gitters mit mehreren Raumfrequenzkomponenten als Strahlteiler durch eine geeignete "seitliche" Verschiebung der Komponenten.

Die dargestellten interferometrischen Vorrichtungen können weiter derart ausgeführt oder weitergebildet werden, dass die Differenzen der optischen Weglängen, unter denen die Teilstrahlen zur Interferenz gebracht werden, über ein durch das oder die dispersiven Elemente eingebrachtes Maß hinaus differieren. Die Interferenzen werden dann auf Komponenten des einfallenden Lichtes mit entsprechend hoher Kohärenzlänge bzw. kleiner Bandbreite begrenzt.

Es wird nur dann ein Interferenzsignal erzeugt, wenn die einfallende Strahlung im Bereich der optischen Weglängendifferenzen Kohärenzeigenschaften bzw. Autokorrelationseigenschaften zeigt. Bei einer Anwendung im Bereich der optischen Spektroskopie können auf diese Weise selektiv Linienspektren aufgenommen werden. In diesem Fall tragen nur spektral schmalbandige Komponenten der einfallenden Strahlung mit entsprechend großen Kohärenzlängen zum gemessenen Signal bei.

Bei einer Anwendung im Bereich der optischen Datenübertragung können selektiv Träger mit definierten Autokorrelationseigenschaften aufgenommen bzw. vermes-

sen werden. Dies ist insbesondere interessant für eine Anwendung im Bereich des Kohärenzlängen-Multiplexing.

Für beide Anwendungsbereiche besteht der besondere Vorteil der Anordnung darin, dass die spektrale Auflösung (Spektroskopie) bzw. Bandbreite (Datenübertragung) unabhängig von der zu selektierenden Linienbreite (Spektroskopie) bzw. Autokorrelationslänge (Datenübertragung) eingestellt werden kann.

Eine ganz außerordentlich kompakte und preiswerte Möglichkeit, eine erfindungsgemäße Anordnung zu realisieren, zeigt Abbildung 4. Verwendet wird ein diffraktives optisches Element (D) nach Anspruch 11 in einer Funktion gemäß Anspruch 27, in diesem Fall ein Diffusor mit einer Körnigkeit geeigneter Größenordnung. Voraussetzung für den Betrieb ist wiederum eine Einkopplung des Lichtfeldes (M) in Form nur eines oder weniger räumlichen Moden gemäß Anspruch 4 bis 6. Vorteilhaft ist eine geeignete Aperturblende (A) wie gezeigt. Die dargestellte Variante verfügt zweckmäßigerweise über einen bildgebenden Detektor (CCD) nach Anspruch 10. An die Stelle des Diffusors können je nach Anwendung diffraktive Elemente nach Anspruch 25 treten, welche ein hoch strukturiertes Interferenzfeld erzeugen können. Genutzt werden kann in diesem Kontext auch eine Variante des Talbot- bzw. Lau-Effektes, insbesondere die Fähigkeit bestimmter Strukturen, sich selbst abzubilden. Gegebenenfalls können unterschiedliche Interferenzfelder erzeugt werden durch eine räumliche Versetzung der Einkopplung oder Versetzung bzw. Verkipfung des Diffusors gemäß Anspruch 15.

Diese Anordnung wird zweckmäßigerweise mit einer sehr hohen Anzahl von Messpunkten für das Interferenzfeld in Kombination mit den dargestellten statistischen Verfahren betrieben.

Die Selektivität der Anordnungen kann verbessert werden, indem Teile mehrfach mit den Lichtfeldern wechselwirken, insbesondere wenn die Anordnung vielfache Reflexionen erlaubt bzw. einen Resonator bildet. Abbildung 5 zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung nach Anspruch 16 mit dieser Eigenschaft.

Wiederum ist eine Einkopplung des Lichtfeldes (M) nach einem der Ansprüche 4 bis 6 erforderlich, um erkennbare Interferenzfelder zu erzeugen. Vorteilhaft ist eine geeignete Aperturblende (A) wie gezeigt. Der Resonator wird gemäß Anspruch 17 gebildet durch den Strahlteiler (S) und ein diffraktives Element (G), welches gleichzeitig über unterschiedliche Beugungsordnungen selbst als Strahlteiler dient. Über den Strahlteiler (S) wird das Feld in den Resonator eingekoppelt, über das diffraktive Element (G) das resultierende Interferenzfeld in Richtung Detektor (CCD) ausgekoppelt. Weitere mehrfach reflektierte Teilstrahlen tragen ebenfalls zur Interferenz bei.

Als diffraktives Element eignen sich neben einfachen Gittern einerseits und komplexen Beugungsstrukturen andererseits auch Multiplex-Gitter (Überlagerung mehrerer Raumfrequenzen) oder mehrfach unterteilte Gitter, etwa wie dargestellt in Abbildung 6. In diesem Beispiel ist der Strahlteiler (S) als halbdurchlässiger Spiegel realisiert, während das diffraktive Element (G) in der dargestellten Form durch streifenartig nebeneinanderliegende Gitter mit unterschiedlichen Gitterkonstanten realisiert ist. Der von den jeweiligen Gittern reflektierte Teil des Feldes (0-te Beugungsordnung) verlässt den Resonator, während der von den Gittern gebeugte Teil des Lichtfeldes (geeignete Wellenlänge vorausgesetzt) zunächst im Resonator verbleibt und zum Teil über den Strahlteiler (S) wieder das diffraktive Element erreicht.

Die technische Ausführung des Resonators ist dabei von untergeordneter Bedeutung. Neben einfachen Resonatoren mit nur zwei Bauelementen kommen alle Arten von Resonatoren insbesondere auch Ring-Kavitäten in Frage.

Durch die Mehrfachreflexionen ergeben sich sehr komplexe Muster, die vorzugsweise mit Hilfe der in den Verfahrensansprüchen genannten statistischen Methoden (cross correlation) mit sehr vielen Messwerten behandelt werden.

Eine weitere erfindungsgemäße Ausgestaltung sieht vor, dass die Vorrichtung Mittel zur Drehung des Interferometers bzw. Mittel zur Veränderung oder Auswahl des Einfallswinkels aufweist, welche eine Einstellung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters ermöglichen.

Der Wellenlängenbereich, den die Anordnung ohne bewegliche Teile erfassen kann, ist gegeben durch die Fähigkeit des Detektors, die entsprechenden Raumfrequenzen im Interferenzmuster nachzuweisen. Von besonderem Vorteil für eine technische Realisierung der Anordnung kann es sein, die Auswahl eines Wellenlängenbereichs d.h. in diesem Fall die Einstellung des Interferometers dergestalt, dass die für diesen Wellenlängenbereich resultierenden Raumfrequenzen vom Detektor erfasst werden können, durch eine Drehung des Interferometers als Ganzes bzw. durch eine geeignete Veränderung des Einfallswinkels zu erreichen. Für diese Bauform kommt das Interferometer selbst - abgesehen von den gegebenenfalls erforderlichen Mitteln zur Phasenmodulation - ohne bewegliche Elemente aus und kann trotzdem für verschiedene Wellenlängenbereiche eingesetzt werden.

In diesem Fall können die Komponenten des Interferometers gegeneinander fixiert werden, was sich vorteilhaft auf die Stabilität der Justierung auswirkt. Voraussetzung für die Wellenlängenabstimmung über den Einfallswinkel ist, dass der Winkel, unter dem die Teilfelder im Interferometer überlagert werden eine geeignete Abhängigkeit vom Einfallswinkel zeigt. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn die Teilfelder spiegelbildlich überlagert werden, d.h. die Teilfelder müssen in einem diesbezüglich asymmetrischen Interferometer über eine jeweils um 1 verschiedene Anzahl von Spiegeln geführt werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann diese Situation bei symmetrischen Interferometern durch Einsatz eines Dieders oder Retroreflektors erreicht werden.

Abbildung 7 zeigt eine besonders vorteilhafte Anordnung gemäß Anspruch 30. Das Lichtfeld wird gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6 eingekoppelt (M). Die Aperturblende (A) begrenzt den Raumwinkel zur Vermeidung von Streulicht.

Das Lichtfeld trifft dann auf eine diffraktive Struktur nach Anspruch 27 oder 28 (Beugungsgitter), vorzugsweise ausgeführt als Gitter oder Multiplexgitter. Sehr vorteilhaft eingesetzt werden können an dieser Stelle holographisch optische Elemente. Der reflektierte Teil des Feldes trifft auf einen Spiegel (S2), der gebeugte Teil des Feldes trifft auf einen weiteren Spiegel (S1). Anteile der jeweiligen Teilfelder werden von den Spiegeln zum diffraktiven Element zurück reflektiert und dort durch jeweils teilweise Reflexion und Beugung zu zwei Interferenzfeldern überlagert. Eines dieser Interferenzfelder erreicht den Detektor (CCD), wie in Anspruch 30 beschrieben. Die von Detektor aufgenommenen Muster können dann in der bereits dargestellten Weise numerisch weiter bearbeitet werden. Andere Teile der Felder verlassen die Anordnung ungenutzt. Der bei einem der Spiegel (S2) dargestellte Aktuator (Phasenschieber) ermöglicht die Aufnahme von Interferenzmustern bei unterschiedlichen relativen Phasenlagen der Teilfelder.

Eine besonders vorteilhafte Kombination bildet die in Abbildung 8 dargestellte Anordnung. Über das bereits in Abbildung 7 dargestellten Element zur Einkopplung des Lichtfeldes (M), eine Aperturblende (A), Spiegel (S1,S2), ein diffraktives Element (Beugungsgitter) und den Detektor (CCD) hinaus, kann gemäß Anspruch 31 ein abbildendes optisches Element (L) und eine Austrittsapertur (A2) verwendet werden. Die Austrittsapertur schränkt Variabilität der auftretenden Interferenzmuster ein. Für den Fall, dass das diffraktive Element ein Beugungsgitter ist, kann die Austrittsapertur auch den Wellenlängenbereich, der Felder, die den Detektor erreichen können einschränken.

Die für eine Messung erforderliche Korrelation eines gemessenen Interferenzmusters mit dem für eine bestimmte spektrale Komponente oder eine Gruppe spektraler Komponenten bekannten Interferenzmuster kann sehr vorteilhaft unmittelbar

optisch mit Hilfe einer Maske und ggf. geeigneter Phasenmodulation oder anderweitiger Verstimmung des Interferometers erfolgen.

Insbesondere können in einer einzelnen Maske bereits die Interferenzmuster eines spektralen Fingerprints mit vielen spektralen Komponenten enthalten sein.

Die mehrfache Aufnahme des Interferenzmusters durch die dem Detektor vorgelagerte Maske hindurch bei unterschiedlichen relativen Phasenlagen der Teilstrahlen zeigt eine starke Abhängigkeit der jeweils gemessenen integrierten gesamten Intensität des Signals von der relativen Phasenlage nur für diejenigen spektralen Komponenten des einfallenden Lichtes mit deren resultierenden Interferenzmustern die Maske korreliert.

Eine direkte optische Korrelation ist unter günstigen Umständen numerischen Verfahren bei weitem überlegen. Besonders interessant wird diese Ausformung der Anordnung, bei Verwendung einer variablen Maske, etwa eines LCD-Schirms (spatial light modulator, SLM). Eine variable Amplituden-Maske (SLM), welche unterschiedliche Muster zur optischen Korrelation darstellen kann, ist relativ einfach zu realisieren, da die Maske nicht mehr Teil des eigentlichen Interferometers ist.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Veränderung der relativen Phasenlage der interferierenden Teilfelder und die Veränderung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters gemeinsam durch Bewegung mindestens eines Bauelements der Vorrichtung.

Es ist vorteilhaft, Messungen bei unterschiedlichen relativen Phasenlage der Teilfelder vorzunehmen. Sind die optischen Weglängen der Teilfelder ungleich und/oder führt die Verkipfung der optischen Elemente zu einer Veränderung der Differenz der optischen Weglängen der Teilfelder, dann ändert sich bei der Einstellung der Wellenlänge auch die relative Phasenlage des Interferenzmusters. Dieser Effekt kann unmittelbar zur Messung bei verschiedenen Phasenlagen genutzt wer-

den. Dies ist für eine technische Ausführung besonders vorteilhaft, da ein separater Mechanismus für die Modulation der Phasenlage dann entfallen kann.

Die Drehung eines der optischen Elemente um einen Stützpunkt P außerhalb des Strahlengangs bewirkt neben der Veränderung des Winkels und damit der Einstellung der selektierten Wellenlänge gleichzeitig eine Veränderung der optischen Weglänge und damit eine Modulation der relativen Phasenlage.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist das spektral disperse bzw. diffraktive Element ein Multiplex-Gitter, ein Multiplex-Hologramm, ein holografisch-optisches Element oder ein computergeneriertes Hologramm (CGH).

Bei Verwendung eines zweidimensional auflösenden Detektors kann es besonders vorteilhaft sein, spektral disperse Elemente zu verwenden, welche nicht nur eine einfache Ablenkung des jeweiligen Teilstrahls bewirken. Insbesondere im Zusammenhang mit den dargestellten Korrelationsverfahren erscheint die Erzeugung komplizierterer Interferenzmuster vorteilhaft. Derart komplexe Muster zeigen gegebenenfalls ein schärfer definiertes Korrelationssignal als einfache Streifenmuster.

Bei Verwendung eines periodischen Beugungsgitters liegen (im Gegensatz zu einem normalen Fourier-Transform-Spektrum !) die Positionen gleicher optischer Weglänge und damit maximaler Amplitude bzw. Modulation für die verschiedenen Wellenlängen an unterschiedlichen Stellen des Detektors. Dies wirkt sich günstig auf den erforderlichen dynamischen Bereich der Detektorelemente aus.

Für spezielle Anwendungen, etwa in der Chemometrie der Nachweis einer Substanz durch die Bestimmung spektraler "Fingerprints" in bestimmten Bereichen eines Absorptionsspektrums, oder die gleichzeitige Bestimmung bestimmter spektraler Linien, können - wie auch in den anderen erfindungsgemäßen Anordnungen - spezielle Beugungsgitter verwendet werden. Neben räumlich getrennten oder räumlich überlagerten Mehrfachgittern und gegebenenfalls einer Anordnung mit

mehreren Detektoren, kommen hier auch holographische Elemente in Betracht, die z.B. ganze Gruppen von unterschiedlichen Spektrallinien unter dem gleichen Winkel beugen können. Diese Variante kann besonders günstig sein bei Verwendung eines Detektors, der eine Maske zur Erkennung von Mustern verwendet (optisches Korrelationsverfahren).

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur optischen Spektroskopie
mit Mitteln zur Erzeugung eines Interferenzmusters und mit Mitteln zur Einkopplung des zu untersuchenden Lichtfeldes dergestalt, dass nur eine oder einzelne räumliche Moden des Feldes zugelassen werden, und mit einem Detektor, der die Intensität des erzeugten Interferenzmusters an einer Vielzahl räumlich unterschiedlicher Positionen aufnehmen kann, wobei durch spektral dispersive bzw. diffraktive optische Elemente die Wellenfronten und/oder die Ausbreitungsrichtung mindestens eines der am Interferenzmuster beteiligten Lichtfelder abhängig von der Wellenlänge verändert werden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Erzeugung des Interferenzmusters eine Teilung der Amplitude des einfallenden Lichtes umfassen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Erzeugung des Interferenzmusters eine Teilung der Wellenfront des einfallenden Lichtes umfassen.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Einkopplung des zu untersuchenden Lichtes nur genau eine definierte räumliche Mode (spatial single mode) zulassen.
5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Einkopplung des zu untersuchenden Lichtes ein Raumfilter (spatial filter) umfassen.
6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Einkopplung des zu untersuchenden Lichtes einen Mono-Mode Lichtleiter (single mode fibre) umfassen.
7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor, bezüglich einem oder zwei räumlichen Freiheitsgraden durch das Interferenzmuster bewegt werden kann (scannender Detektor).
8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Interferenzmuster über bezüglich einem oder zwei räumlichen Freiheitsgraden bewegliche optische Elemente auf den Detektor abgebildet werden kann (scannender Detektor).
9. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass sie einen räumlich eindimensional auflösenden Detektor aufweist (Array Detektor).

10. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass sie einen räumlich zweidimensional auflösenden Detektor aufweist (Array Detektor).
11. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens ein diffraktives optisches Element, das über nicht periodische Beugungsstrukturen verfügt.
12. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Strahlteiler die Wellenfront wenigstens eines der Teilstrahlen bzw. Lichtfelder abhängig von der Wellenlänge beeinflussen (spektral dispersiver Strahlteiler).
13. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass optische Elemente die Wellenfront und/oder die optische Weglänge wenigstens eines der Teilstrahlen bzw. Lichtfelder abhängig von der Wellenlänge beeinflussen (spektral dispersive optische Elemente).
14. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Mittel, die eine Veränderung bzw. Modulation der relativen Phasenlage (Phasenschieber / Phasenmodulator) mindestens eines der Teilstrahlen bzw. Lichtfelder erlauben.
15. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Mittel, die eine Veränderung bzw. Modulation der räumlichen Lage (Translation und/oder Verkipfung) mindestens eines der Teilfelder und/oder des einfallenden Lichtfeldes erlauben.
16. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung oder Teile der Vorrichtung einen optischen Resonator bilden.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere wellenlängenabhängige Elemente im Inneren des Resonators angeordnet sind oder mindestens ein Element des Resonators wellenlängenabhängig ausgeführt ist (spektral dispersives Element).
18. Vorrichtung nach einem -oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung oder Teile der Vorrichtung mehrfach ausgeführt sind.
19. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz der optischen Weglängen der zur Interferenz gebrachten Strahlen bzw. Lichtfelder verändert werden kann.
20. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel zur Einstellung der Weglängendifferenz der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen bzw. Lichtfelder aufweist, wodurch eine Selektion der zur Interferenz beitragenden Lichtkomponenten entsprechend ihren Kohärenzeigenschaften (Kohärenzlänge) durchführbar ist.
21. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Interferometer einen Retroreflektor bzw. Dieder umfasst.
22. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel zur Drehung des Interferometers bzw. Mittel zur Veränderung oder Auswahl des Einfallswinkels aufweist, welche eine Einstellung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters ermöglichen.

23. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel zur Lageveränderung von Bauelementen der Vorrichtung, insbesondere Mittel zur Drehung der Bauelemente, aufweist, welche eine Einstellung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters ermöglichen.
24. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Veränderung der relativen Phasenlage der interferierenden Teilstrahlen bzw. Lichtfelder und die Veränderung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters gemeinsam durch Bewegung mindestens eines Bauelements der Vorrichtung erfolgt.
25. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das spektral dispersive bzw. diffraktive Element ein Multiplex-Gitter, ein Multiplex-Hologramm, ein holographisch-optisches Element oder ein Computergeneriertes Hologramm ist.
26. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das resultierende Interferenzmuster oder Teile des Interferenzmusters eine Vielzahl von Raumfrequenzen umfassen und/oder ein kontinuierliches Spektrum von Raumfrequenzen umfassen.
27. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein diffraktives optisches Element gleichzeitig als Strahlteiler und als wellenlängendispersives Element verwendet wird.
28. Vorrichtung nach Anspruch 27 mit einem als Strahlteiler verwendeten diffraktiven optischen Element, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Erzeugung des Interferenzmusters genau dieses oder ein gleichartiges Element zur Rekombination der geteilten Strahlen bzw. Lichtfelder umfassen.

29. Vorrichtung nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilstrahlen bzw. Lichtfelder durch ein Beugungsgitter unter verschiedenen Beugungsordnungen und gegebenenfalls einschließlich des ungebeugten bzw. reflektierten Teilstrahls bzw. Lichtfeldes ("0-te Ordnung") erzeugt werden, durch geeignete Mittel zum Beugungsgitter zurückreflektiert werden und von dort durch Beugung unterschiedlicher Ordnungen wieder überlagert werden.
30. Vorrichtung nach Anspruch 28 und 29, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Spiegel vorgesehen sind, durch die von dem Beugungsgitter bzw. diffraktiven optischen Element ausgehende Teilfelder zu eben diesem Beugungsgitter bzw. diffraktiven optischen Element zurückreflektiert werden, wobei wenigstens einer der Spiegel derart verschiebbar angeordnet ist, dass die relative Phasenlage des reflektierten Lichtes veränderbar ist und, wobei das eingekoppelte Lichtfeld zunächst dergestalt am Beugungsgitter bzw. diffraktiven optischen Element geteilt wird, dass ein reflektierter Anteil einen der Spiegel erreicht während ein gebeugter Anteil den anderen Spiegel erreicht und wobei die von den Spiegeln zum Beugungsgitter bzw. diffraktiven optischen Element zurückreflektierten Anteile der Felder derart wieder durch das Beugungsgitter bzw. diffraktive optische Element am Detektor überlagert werden, dass ein Anteil des zuvor am Beugungsgitter bzw. diffraktiven optischen Element reflektierten Teilfeldes durch Beugung den Detektor erreicht während ein Anteil des zuvor am Beugungsgitter bzw. diffraktiven optischen Element gebeugten Teilfeldes durch Reflektion den Detektor erreicht.
31. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine abbildende Optik und eine Blende in der Bildebene des Strahlengangs vorgesehen ist.
32. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor über eine räumliche Maske

verfügt, die mit mindestens einem zu erkennenden Interferenzmuster korreliert (optischer Korrelator), wobei die Maske fest oder veränderbar (spatial light modulator) gestaltet sein kann.

33. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fähigkeit des Detektors, eine räumliche Modulation zu erkennen, dergestalt realisiert wird, dass ein primär nicht ortsauflösender Detektor mit einer geeigneten räumlichen, gegebenenfalls beweglichen, Maske kombiniert wird.
34. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche in Kombination mit einem spektral selektiven Filter und/oder einem spektral selektiven Detektor.
35. Verwendung einer Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche als optisches Spektrometer.
36. Verwendung einer Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche zur optischen Spektroskopie, wobei entsprechend der jeweils eingestellten Weglängendifferenz der interferierenden Teilstrahlen Komponenten des einfallenden Lichts entsprechend ihren Kohärenzlängen bzw. Kohärenzeigenschaften selektiv gemessen werden.
37. Verwendung einer Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche als chemometrischer Sensor.
38. Verwendung einer Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche als Schichtdickenmessgerät bzw. Abstandssensor.
39. Verfahren zur Bestimmung des optischen Spektrums und/oder von durch ein optisches Spektrum kodierten bzw. übertragenen Messwerten durch Analyse

des mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 34 oder unter Verwendung einer Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 35 bis 38 gemessenen Interferenzmusters.

40. Verfahren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass es eine Fourier-Transformation des Interferenzmusters umfasst bzw. die Darstellung des Interferenzmusters als Linearkombination von Sinus- und/oder Kosinus-Funktion (z.B. Hartley-Transformation).
41. Verfahren nach Anspruch 39 oder 40, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung des Spektrums die Zerlegung des oder der gemessenen Interferenzmuster in einem Satz vorrichtungsabhängiger Basismuster umfasst, insbesondere die Bestimmung einer spektralen Komponente durch Korrelation des oder der Interferenzmuster mit einem für die jeweilige Vorrichtung und die zu bestimmende spektrale Komponente erstellten Basismusters.
42. Verfahren nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung des oder der spektral kodierten Messwerte die Zerlegung des oder der gemessenen Interferenzmuster in einem Satz vorrichtungsabhängiger Basismuster umfasst, insbesondere die Bestimmung des oder der spektral kodierten Messwerte durch Korrelation des oder der Interferenzmuster mit einem für die jeweilige Vorrichtung und den oder die zu messenden Werte erstellten Basismuster.
43. Verfahren nach einem der Ansprüche 41 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass die zur Bestimmung der spektralen Komponenten oder spektral kodierten Messwerte erforderlichen Basismuster durch eine Messung gewonnen werden.
44. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 41 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung des Spektrums bzw. des oder der

spektral kodierten Messwerte die Aufnahme verschiedener Interferenzmuster bei verschiedenen relativen Phasenlagen und/oder ausgehend von unterschiedlichen räumlichen Moden umfasst, insbesondere unter Nutzung mindestens eines der in den Ansprüchen 14, 15, 19, 20, 22, 23 oder 24 genannten Mittel zur Variation der erzeugten Interferenzmuster.

45. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 41 bis 44, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Basismuster die Aufnahme verschiedener Interferenzmuster bei verschiedenen relativen Phasenlagen und/oder ausgehend von unterschiedlichen räumlichen Moden umfasst, insbesondere unter Nutzung mindestens eines der in den Ansprüchen 14, 15, 19, 20, 22, 23 oder 24 genannten Mittel zur Variation der erzeugten Interferenzmuster.
46. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 41 bis 45 dergestalt, dass anstelle eines gemessenen Interferenzmusters bzw. Basismusters jeweils numerische Transformationen bzw. Funktionen eines oder mehrerer Interferenzmuster verwendet werden.
47. Verfahren zur Erstellung von Mustern gemäss dem Verfahren nach Anspruch 46 dergestalt, dass das Verfahren die Bestimmung bzw. Messung der Differenz der optischen Weglängen der zur Interferenz gebrachten Teilfelder für die einzelnen Messpunkte der Muster umfasst sowie eine Sortierung oder Indizierung der einzelnen Messwerte abhängig von der jeweilig für den Messpunkt festgestellten Differenz der optischen Weglängen der zur Interferenz gebrachten Teilfelder.
48. Verfahren zur Erstellung von Basismustern gemäss dem Verfahren nach Anspruch 46 dergestalt, dass in der Folge einer Transformation nach Anspruch 47 eine Fourier- oder Hartley- Transformation durchgeführt wird (Orthogonalisierungsverfahren für Basismuster).

Fig. 1

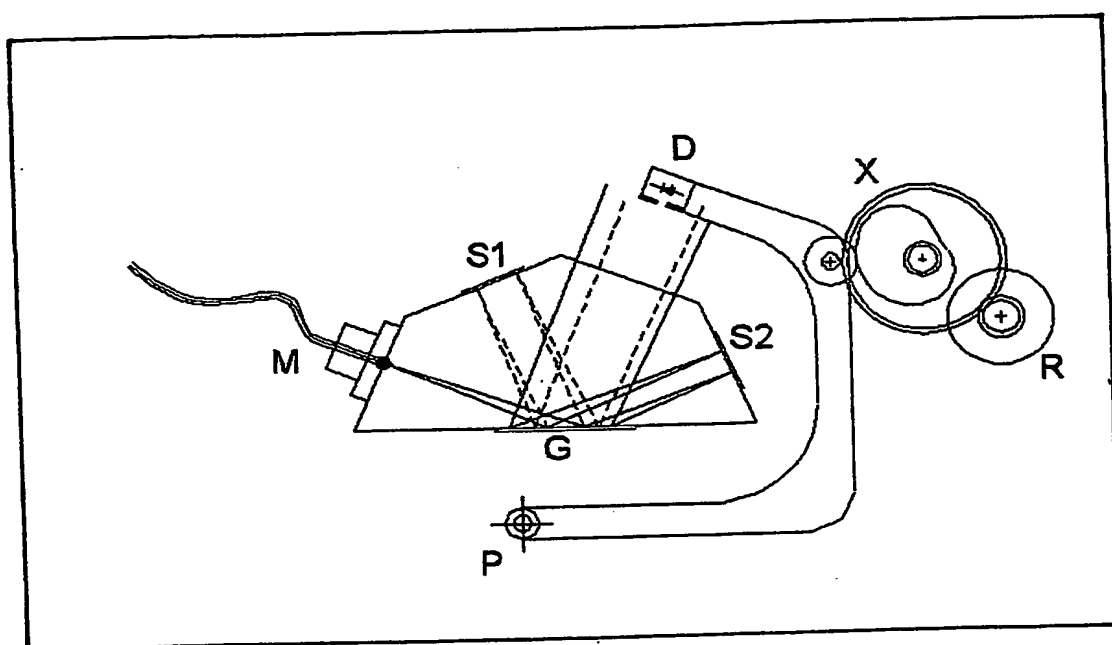


Fig. 2

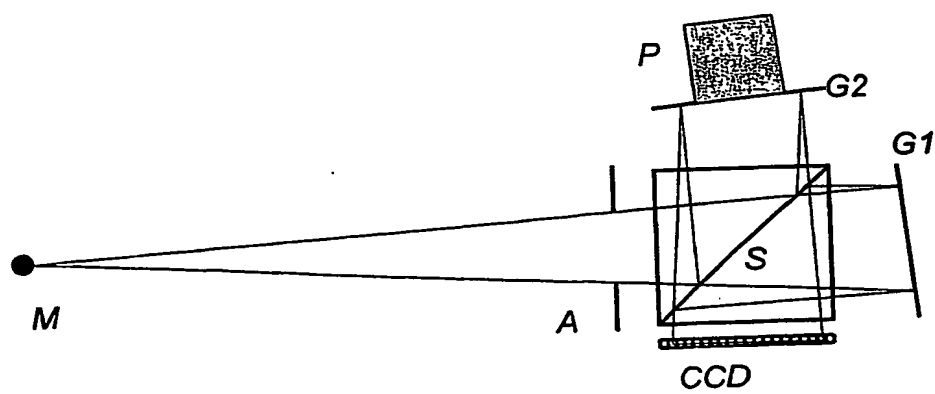


Fig. 3

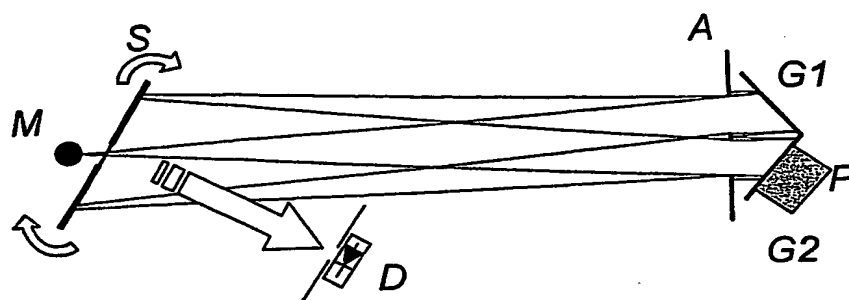


Fig. 4

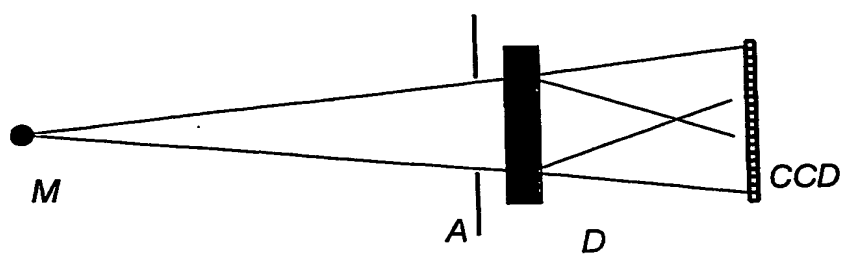


Fig. 5

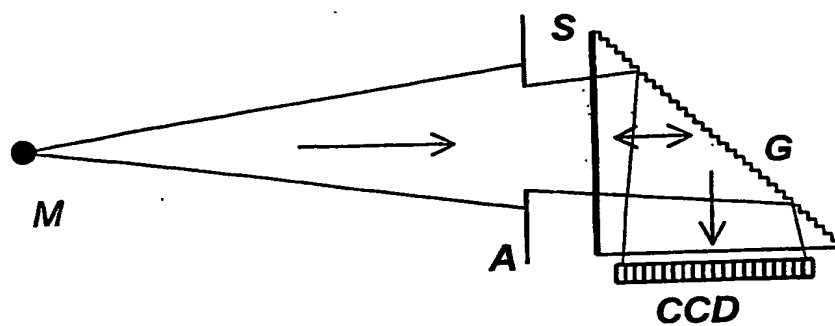


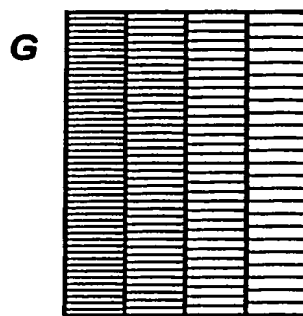
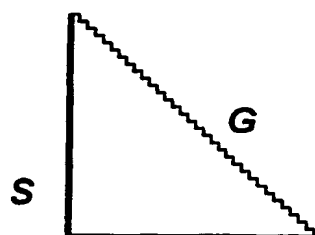
Fig. 6

Fig. 7

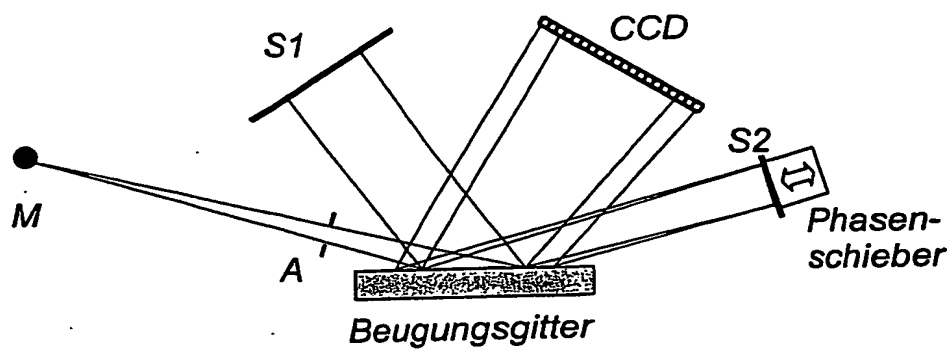
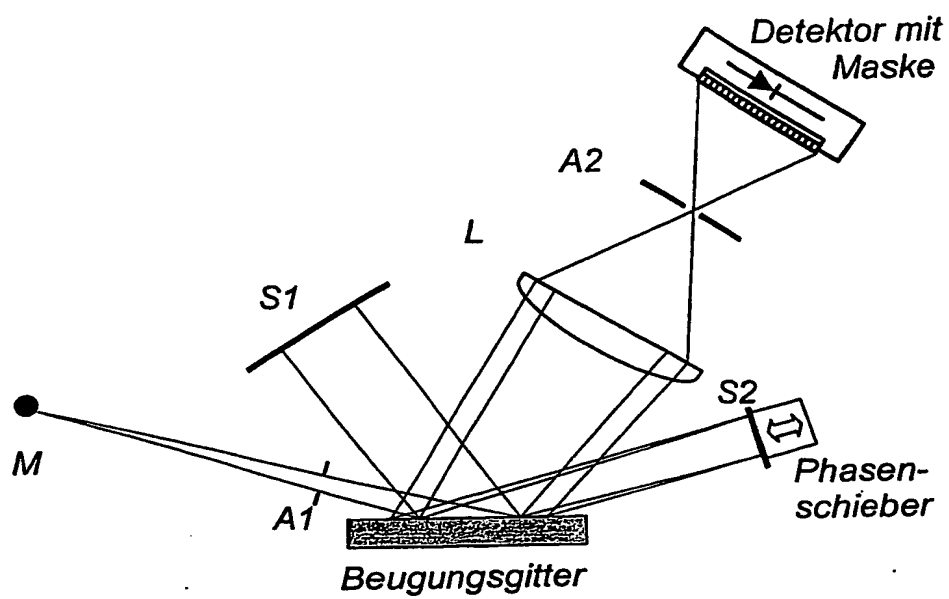


Fig. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 02/07861

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01J3/453

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 00 62026 A (CAMPUS TECHNOLOGIES AG ;WEITZEL THILO (DE)) 19 October 2000 (2000-10-19) the whole document -----	1-48

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 March 2003

Date of mailing of the international search report

28/03/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

De Buyzer, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 02/07861

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0062026	A	19-10-2000	DE 19916072 A1	26-10-2000
			DE 19922783 A1	04-01-2001
			DE 19933290 A1	08-03-2001
			WO 0062026 A1	19-10-2000
			EP 1169626 A1	09-01-2002
			JP 2002541471 T	03-12-2002

INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/07861

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01J3/453

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Researchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01J

Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 00 62026 A (CAMPUS TECHNOLOGIES AG ;WEITZEL THILO (DE)) 19. Oktober 2000 (2000-10-19) das ganze Dokument	1-48

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. März 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

28/03/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

De Buyzer, H

INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/07861

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0062026	A	19-10-2000	DE 19916072 A1 26-10-2000
			DE 19922783 A1 04-01-2001
			DE 19933290 A1 08-03-2001
			WO 0062026 A1 19-10-2000
			EP 1169626 A1 09-01-2002
			JP 2002541471 T 03-12-2002